Environnement Canada
Environment Canada

Modélisation de la teneur en oxygène dissous de la rivière Ste-Croix, à la frontière du Maine et du Nouveau-Brunswick

Willard Boutot* et Thomas A. Clair†

* Division des systèmes de gestion des eaux
Direction de la planification et de la gestion des eaux
Direction générale des eaux intérieures
Ottawa (Ontario)

† Direction de la qualité des eaux
Direction générale des eaux intérieures
Région de l'Atlantique
Moncton (Nouveau-Brunswick)

ÉTUDE N° 121, COLLECTION DES RAPPORTS TECHNIQUES

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DE LA GESTION (EAUX
OTTAWA (ONTARIO)
et
DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
RÉGION DE L'ATLANTIQUE
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX
MONCTON (NOUVEAU-BRUNSWICK) 1981

Canada

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982

N° de cat. En 36-503/121F

ISBN 0-662-91860-6

Table des matières

		Page
Résumé		v
Abstract		v
1.	Introduction	1
2.	Région à l'étude	2
	2.1 Configuration du modèle pour l'étude de la rivière Sainte-Croix	2
3.	Méthodologie	4
	3.1 Modèle hydraulique	5
	3.2 Modèle sur la qualité de l'eau	6
4.	Etalonnage du modèle	6
	4.1 Modèle hydraulique HEC-2	6
	4.1.1 Description du programme	6
	4.1.2 Etalonnage	6
	4.1.3 Homologation	8
	4.2 Modèle WATQUAL	11
	4.2.1 Description du programme	11
	4.2.2 Etalonnage	11
	4.2.3 Homologation	16
5.	Résultats et discussion	16
	5.1 HEC-2	17
	5.2 WATQUAL	17
6.	Conclusions et recommandations	27
	6.1 Modélisation	27
	6.2 Gestion de la qualité des eaux	27
7.	Remerciements	27
8.	Références	27

Tableaux

		Page
2-1.	Division du tronçon à l'étude	4
3-1.	Elévations de la surface de l'eau au niveau des sections transversales	5
4-1.	Coefficients de rugosité épurés pour chaque tronçon	8
4-2.	Valeurs relatives à la quantité et à la qualité de l'eau utilisées pour étalonner le modèle WATQUAL.	12
4-3.	Vitesse de dégradation des matières organiques pour des déversements d'effluents et des débits de la rivière donnés	16
5-1.	Paramètres utilisés pour les simulations avec le modèle WATQUAL	16
5-2.	Débits de la rivière Sainte-Croix (21 m^3/s) avec concentrations en oxygène dissous simulées	24
5-3.	Débits de la rivière Sainte-Croix (71 m^3/s) avec oxygène dissous simulé	25
5-4.	Débits de la rivière Sainte-Croix (142 m^3/s) avec concentrations en oxygène dissous simulées	26

Illustrations

Figure 2-1.	Carte du tronçon à l'étude	3
Figure 4-1.	Etalonnage initial du modèle HEC-2	7
Figure 4-2.	Etalonnage final du modèle HEC-2	9

Illustrations (suite)

Page

Figure 4-3. Passes du modèle HEC-2 utilisées pour étalonner le modèle WATQUAL..... 10

Figure 4-4. Comparison des niveaux d'oxygène dissous calculés, avec les valeurs enregistrées sur le terrain..... 13

Figure 4-5. Vitesses de dégradation après l'étalonnage..... 14

Figure 4-6. Demande en oxygène du sédiment..... 15

Figure 5-1. Simulation de la teneur en oxygène dissous (débit de 21 m^3/s)..... 18

Figure 5-2. Simulation de la teneur en oxygène dissous (débit de (71 m^3/s)..... 20

Figure 5-3. Simulation de la teneur en oxygène dissous (débit de (142 m^3/s)..... 22

Résumé

Des techniques de modélisation mathématique ont été appliquées à l'étude de la teneur en oxygène dissous du cours inférieur de la rivière Sainte-Croix. Un modèle d'écoulement hydraulique, le HEC-2, a servi à décrire le régime d'écoulement de la rivière tandis que le modèle WATQUAL a permis de simuler la teneur en oxygène dissous pour diverses conditions de température, de débit et de demande biologique d'oxygène. Les résultats de l'étude indiquent qu'il faudrait réduire la charge des eaux usées versées dans la rivière lorsqu'il fait très chaud et lorsque le débit est minimal, afin de permettre la migration du poisson.

Abstract

Mathematical modelling techniques have been applied to study the dissolved oxygen concentration in the lower reach of the St. Croix River. A hydraulic routing model, HEC-2, was used to describe the flow regime, and the WATQUAL model was used to simulate dissolved oxygen levels under different conditions of temperature, flow and biological oxygen demand. The results indicate that waste loading to the river should be restricted during periods of high temperature and minimum river discharge in order to permit fish migration.

Modélisation de la teneur en oxygène dissous de la rivière Ste-Croix, à la frontière du Maine et du Nouveau-Brunswick

Willard Boutot et Thomas A. Clair

1. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, la rivière Sainte-Croix a été polluée par des fibres organiques et des matières organiques dissoutes provenant de l'usine de papier Georgia-Pacific située à Woodland (Maine). La présence de ces polluants ainsi que la construction de barrages et d'autres structures de réglage ont eu un effet néfaste sur la migration du poisson. Au cours des dernières années, cependant, l'épuration secondaire des eaux usées de l'usine de papier a amélioré la qualité de l'eau de la rivière. La construtions et la réparation des passes à poissons a réouvert la voie, de sorte qu'il serait maintenant possible de réintroduire des saumons anadromes. La présente étude vise à établir si la teneur en oxygène dissous (O.D.) dans la rivière, en aval de l'usine de papier, sera suffisamment élevée pour permettre la migration du saumon.

Lorsque la charge en demande biologique d'oxygène (D.B.O.) est trop élevée ou le débit d'une rivière trop faible, les teneurs en O.D. ne conviennent plus au passage du poisson. Malheureusement, il est impossible de déterminer de façon expérimentale dans la rivière les charges qui ne présentent pas de danger à cause des agressions que subirait l'écosystème. Il existe une autre façon d'aborder le problème; c'est celle qui est décrite dans le présent document et qui consiste à créer des modèles mathématiques pour étudier les facteurs qui influent sur les teneurs en O.D. dans la rivière Sainte-Croix, en particulier les fluctuations du débit d'effluent et du niveau de la rivière. Pour les besoins de la présente étude. un modèle technique décrivant le profil de l'O.D. dans la rivière a été construit à partir des données de la Direction de la qualité des eaux pour la région de l'Atlantique, par la Division des systèmes de la Direction de la planification et de la gestion des eaux (Ottawa).

Le recours à des modèles mathématiques pour simuler des conditions ambiantes représente une étape importante dans la compréhension et l'appréciation des facteurs qui régissent l'évaluation des effets. Mais, ce qui importe plus encore, c'est qu'un modèle peut être un moyen utile pour éprouver la viabilité d'une théorie ou d'établir un calendrier en ce qui concerne les déversements de matières polluantes. La présente étude avait pour but d'appliquer des techniques de modélisation mathématique pour établir les charges en D.B.O. qui pourraient être déversées dans la rivière Sainte-Croix, dans différentes conditions, tout en conservant un milieu dont la qualité permette le passage du poisson. Le présent rapport traite de l'utilisation du modèle WATQUAL sur la qualité de l'eau et explique comment les résultats obtenus peuvent servir à la gestion de la qualité de l'eau de la rivière Sainte-Croix.

2. REGION A L'ETUDE

La rivière Sainte-Croix constitue la frontière internationale entre le Canada et les Etats-Unis sur une longueur de 113 kilomètres environ. Elle draine une grande partie des régions de York et de Charlotte au Nouveau-Brunswick ainsi que le comté de Washington dans le Maine. La qualité de l'eau est parfaite dans la plus grande partie du bassin hydrographique et sur 100 kilomètres du cours supérieur de la rivière.

L'usine de papier Georgia-Pacific à Woodland (Maine), à l'endroit où elle déverse ses effluents dans la rivière, marque l'extrémité amont du tronçon qui présente un problème. La section de 14 km, située entre Woodland (Maine) et Milltown (N.-B.), a une population clairsemée; on y trouve deux agglomérations voisines, soit Upper Mills (N.-B.) et Baring (Me.), à 9 km du point de rejet des effluents. Dans cette partie de la rivière, les berges sont en général très boisées ce qui rend difficile l'accès à l'eau. Il n'y a pas d'affluents importants le long du tronçon à l'étude, d'autant plus que trois petits ruisseaux, Strachan Brook, Mohannas Creek et la rivière Magurrewok se jettent dans la rivière en aval de Upper Mills-Baring (Fig. 2.1).

Des débits atteignant 529 m^3/s (16 665 pi^3/s) et à peine 17 m^3/s (610 pi^3/s) ont été enregistrés. Depuis 1975, le débit moyen annuel à Baring a été de 76 m^3/s (2680 pi^3/s). L'usine Georgia-Pacific, qui règle les déversements dans la région à l'étude, est autorisée à déverser 23 m^3/s (807 pi^3/s) d'effluent. Sauf durant la période printanière, la largeur de la rivière dans la région à l'étude, varie entre 30 et 90 mètres (100-300 pieds) et les profondeurs peuvent atteindre 4 m (13 pi).

Le fond de la rivière est constitué principalement de gravier dans les parties où l'écoulement est rapide; les détritus organiques s'accumulent dans les mares et les zones protégées. La principale particularité de la région à l'étude est un canal étroit et peu profond qui prend naissance à Woodland et qui s'étend sur une longueur de 5,5 km en aval. Il y a des rapides (Bailey Rips) légèrement en aval du point médian de ce tronçon. La rivière décrit une courbe prononcée après ce canal et s'élargit autour de l'île Haywood où elle devient plus profonde et plus lente. La rivière rétrécit à Baring Rips sur une distance d'environ 1,6 km, et on observe une dénivellation de 7 m dans la région entre Upper Mills et Baring. La rivière s'élargit ensuite pour former un lac à débit lent sur une distance d'environ 3 km et finalement se rétrécit de nouveau jusqu'à l'extrémité aval de la région à l'étude située au pont international de Milltown. Dans le tronçon à l'étude, plus de 30 îles divisent le cours naturel de la rivière et forment jusqu'à trois bras distincts.

2.1 Configuration du modèle pour l'étude de la rivière Sainte-Croix

La rivière a été divisée en 30 tronçons allant de 150 à 1200 m, d'après les travaux du Corps of Engineers de l'armée américaine (2). Des noeuds ont été attribués aux sections transversales arpentées à l'extrémité de chaque tronçon. Par exemple, le tronçon 1 est situé entre les sections transversales des stations de chaînage 1000 et 2000. Le tronçon 1 est également identifié comme le tronçon situé entre le noeud 1 et le noeud 2 (tableau 2-1). La figure 2-1 représente la rivière Sainte-Croix divisée en 30 tronçons et 31 noeuds. Le noeud 32 représente le débit entrant de la rivière, et le noeud 33 est le point de déversement des déchets dans la rivière.

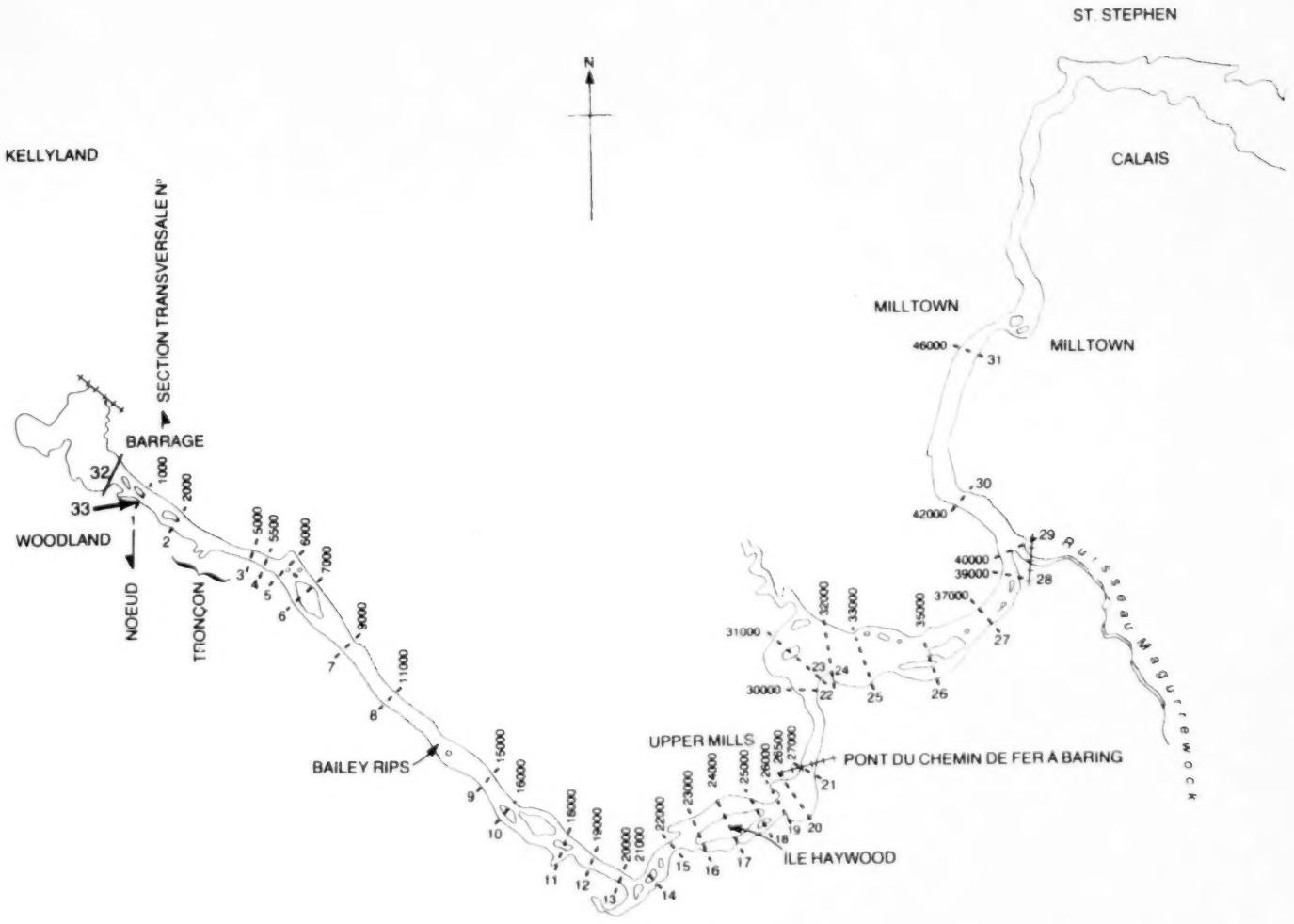

Figure 2-1. Carte du tronçon à l'étude.

Tableau 2-1. Division du tronçon à l'étude

Tronçon	Noeud	Distance mi	Distance km	Section transversale entre (ou description)
1	1 - 2	0,189	0,30	1000 - 2000
2	2 - 3	0,568	0,91	2000 - 5000
3	3 - 4	0,095	0,15	5000 - 5500
4	4 - 5	0,095	0,15	5500 - 6000
5	5 - 6	0,189	0,30	6000 - 7000
6	6 - 7	0,379	0,61	7000 - 9000
7	7 - 8	0,379	0,61	9000 - 11000
8	8 - 9	0,758	1,21	11000 - 15000
9	9 - 10	0,189	0,30	15000 - 16000
10	10 - 11	0,379	0,61	16000 - 18000
11	11 - 12	0,189	0,30	18000 - 19000
12	12 - 13	0,189	0,30	19000 - 20000
13	13 - 14	0,189	0,30	20000 - 21000
14	14 - 15	0,189	0,30	21000 - 22000
15	15 - 16	0,189	0,30	22000 - 23000
16	16 - 17	0,189	0,30	23000 - 24000
17	17 - 18	0,189	0,30	24000 - 25000
18	18 - 19	0,189	0,30	25000 - 26000
19	19 - 20	0,095	0,15	26000 - 26500
20	20 - 21	0,095	0,15	26500 - 27000
21	21 - 22	0,568	0,91	27000 - 30000
22	22 - 23	0,189	0,30	30000 - 31000
23	23 - 24	0,189	0,30	31000 - 32000
24	24 - 25	0,189	0,30	32000 - 33000
25	25 - 26	0,379	0,61	33000 - 35000
26	26 - 27	0,379	0,61	35000 - 37000
27	27 - 28	0,379	0,61	37000 - 39000
28	28 - 29	0,189	0,30	39000 - 40000
29	29 - 30	0,379	0,61	40000 - 42000
30	30 - 31	0,756	1,21	42000 - 46000
31	31 - 0	0,0	0,00	46000 (ou fin)
32	32 - 1	0,0	0,00	débit entrant
33	33 - 1	0,0	0,00	charge en résidus

3. METHODOLOGIE

Pour simuler les teneurs en O.D. le long du tronçon à l'étude, deux modèles ont été utilisés. Le premier était un modèle d'écoulement hydraulique dans lequel les valeurs de débit de la rivière et la géométrie du canal ont été utilisées pour simuler l'écoulement. Le second était un modèle O.D.-D.B.O. qui utilisait les résultats du modèle hydraulique, les superficies des sections transversales d'écoulement et la largeur de la surface ainsi que les charges en D.B.O., la température de l'eau, les valeurs de fixation de l'oxygène benthique et la vitesse de dégradation des matières organiques pour prédire les teneurs en O.D.

3.1 Modèle hydraulique

On a utilisé le modèle dit Hydrologic Engineering Center Model 2 (HEC-2) (1) mis au point par le Corps of Engineers de l'armée américaine. Les données d'entrée du modèle comprenaient les 31 sections transversales arpentées en 1967, dans le tronçon allant de Woodland à Milltown (2). On a utilisé une sonde métallique tout au long de la ligne de chaque section transversale pour déterminer l'emplacement et la profondeur des dépôts de fond non consolidés et pour enregistrer la topographie du fond.

Les valeurs initiales du débit de la rivière pour l'étalonnage du modèle ont été fournies par l'usine de papier Georgia-Pacific. A partir de

Tableau 3-1. Élévations de la surface de l'eau au niveau des sections transversales

Section transversale	Date	Elévations de la surface de l'eau (pi au-dessus du niveau de la mer, repère géodésique ÉU)
1000	11 août 1967	95,8
2000	08 août 1967	92,5
5000	08 août 1967	88,6
5500	08 août 1967	88,4
6000	08 août 1967	88,3
7000	04 août 1967	85,8
9000	04 août 1967	85,5
11000	04 août 1967	85,3
15000	31 juillet 1967	81,1
16000	31 juillet 1967	80,85
18000	31 juillet 1967	79,55
19000	31 juillet 1967	79,3
20000	31 juillet 1967	79,2
21000	02 août 1967	78,4
22000	02 août 1967	77,6
23000	02 août 1967	77,25
24000	02 août 1967	76,8
25000	03 août 1967	76,65
26000	03 août 1967	75,3
26500	09 août 1967	74,6
27000	09 août 1967	74,3
30000	26 juillet 1967	65,6
31000	27 juillet 1967	65,9
32000	28 juillet 1967	65,6
33000	25 juillet 1967	65,6
35000	24 juillet 1967	65,5
37000	17 juillet 1967	65,4
39000	17 juillet 1967	65,4
40000	17 juillet 1967	65,5
42000	18 juillet 1967	65,3
46000	18 juillet 1967	65,2

la superficie de la section transversale, de la largeur de la surface, de la vitesse moyenne et de la hauteur moyenne d'écoulement, on a calculé un coefficient de réaération pour le modèle sur la qualité de l'eau.

3.2 Modèle sur la qualité de l'eau

Le modèle WATQUAL (3,4) a été choisi pour étudier la qualité de l'eau. Il a été utilisé pour calculer les profils d'O.D. dans le canal de la rivière à partir des résultats obtenus avec le modèle HEC-2, des charges d'effluents, de la température de l'eau et des profils d'O.D. initiaux. La base du modèle est un algorithme d'écoulement des matières polluantes qui utilise la formule de Streeter-Phelps pour établir le rapport entre l'oxygène dissous (O.D.) et la demande biochimique d'oxygène (D.B.O.) du cours d'eau. Parmi les autres facteurs inclus dans le modèle, il faut mentionner le taux de photosynthèse, la demande en oxygène des sédiments ainsi que les vitesses de dégradation de diverses matières organiques (Annexe A disponible chez les auteurs). Les autres variables utilisées ont été choisies à partir des mesures réelles prises sur le champ dont la liste est donnée au tableau 3-1.

4. ETALONNAGE DU MODELE

4.1 Modèle hydraulique - HEC-2

4.1.1 *Description du programme*

L'utilisation de ce modèle devait servir à fournir des données d'entrée pour le modèle sur la qualité de l'eau, grâce au calcul des superficies des sections transversales et de la largeur de la surface de chaque tronçon. Ces données étaient nécessaires pour déterminer les conditions de la rivière. La version initiale du HEC-2 a été modifiée pour permettre l'utilisation d'options supplémentaires, pour conserver la possibilité d'élargir le programme et pour simplifier la préparation des données d'entrée. On a aussi apporté d'autres changements pour assouplir le programme afin de traiter divers problèmes de profil de la surface de l'eau.

Un ensemble informatique, le programme XSECT (5), a été construit pour fournir les paramètres de contrôle du modèle HEC-2. On s'est servi des sections transversales arpentées (1) pour calculer le nombre de points de profil, et de la distance entre les sections transversales pour obtenir ces valeurs sous une forme compatible avec le modèle HEC-2. Avec ce programme, le Calcomp Plotter peut également fournir des diagrammes de ces sections transversales.

On peut se procurer, en s'adressant aux auteurs, un jeu d'annexes contenant (a) des détails sur le programme WATQUAL et son application au tronçon Woodland-Milltown de la rivière Sainte-Croix (b) des superficies de section transversale au niveau des noeuds sur la rivière Sainte-Croix et (c) les résultats obtenus avec le modèle HEC-2.

4.1.2 *Etalonnage*

Les sections transversales du tronçon à l'étude ont été arpentées entre le 17 juillet et le 11 août 1967 et les élévations de la surface de l'eau ont également été enregistrées. Le débit moyen de la rivière pendant cette période était de 51 m^3/s (1818 pi^3/s) avec un écart type de 7 m^3/s (250 pi^3/s). On s'est servi de cette valeur moyenne pour étalonner le modèle HEC-2 avec, au départ, un niveau d'eau connu de 65,2 pi au-dessus du niveau de la mer (repères géodesiques EU) au poste de chaînage 46000 à Milltown. Une valeur provisoire de 0,035 pour le coefficient de rugosité de Manning a d'abord été choisie pour la section de la rivière Sainte-Croix à l'étude. La figure 4-1 illustre

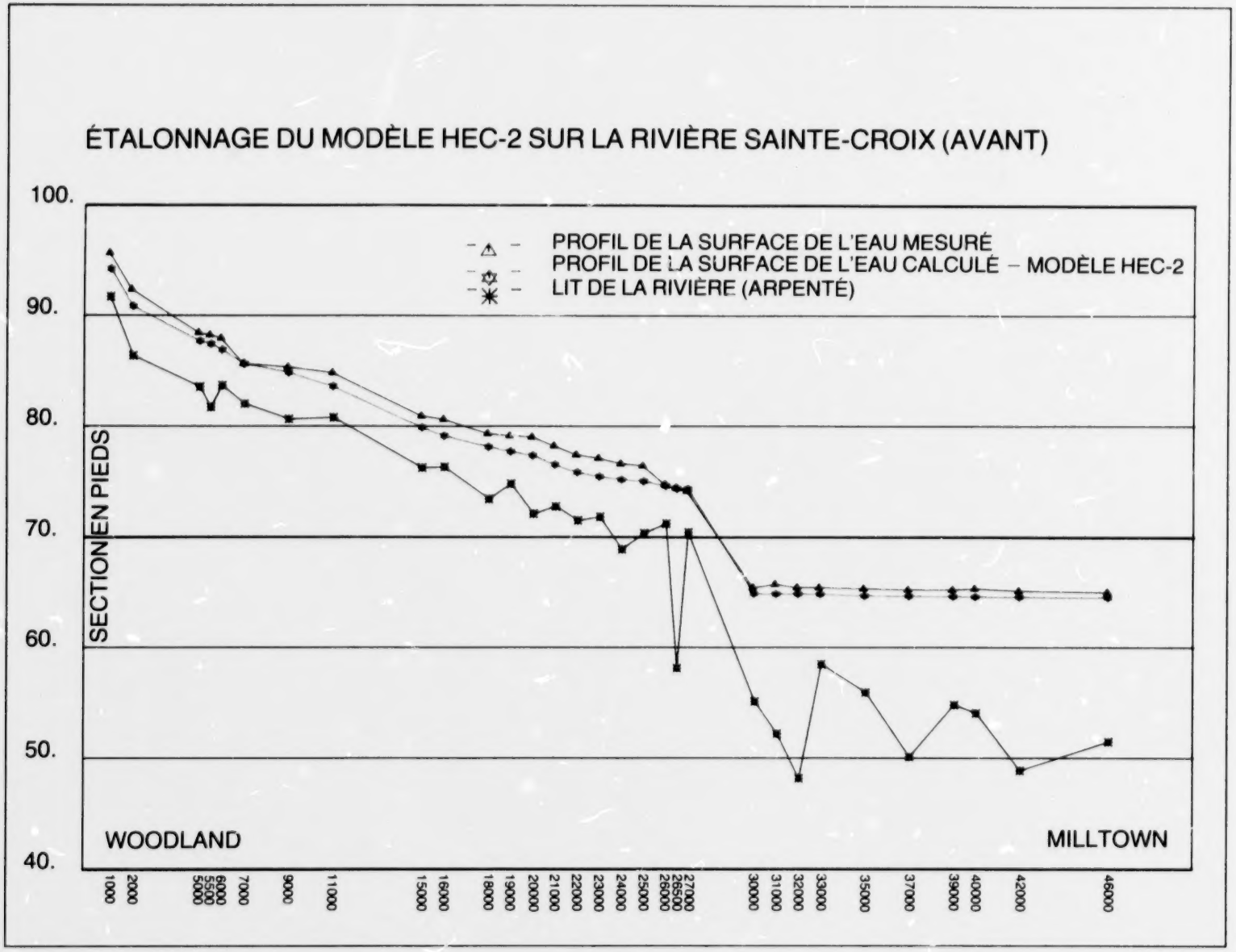

Figure 4-1. Etalonnage initial du modèle HEC-2. Les chiffres le long de l'axe horizontal représentent le nombre de stations de chaînage.

l'étalonnage initial et les différences entre le profil mesuré de la surface de l'eau et le profil calculé à l'aide du modèle HEC-2. On a effectué d'autres passages en faisant varier le coefficient <<N>> de Manning pour chaque tronçon entre Milltown et Woodland. Etant donné que la pente du lit de la rivière devenait plus accentuée et que la vitesse de l'eau augmentait rapidement entre les postes de chaînage 30000 et 27000 et entre les postes 26000 et 26500, on a construit d'autres sections transversales par interpolation entre les sections connues. Le nombre de sections transversales supplémentaires variait suivant la longueur du tronçon et la pente du lit de la rivière. On trouvera au tableau 4-1 les coefficients de rugosité obtenus pour chaque tronçon après l'étalonnage, et la figure 4-2 est une représentation graphique du modèle final étalonné montrant les profils de la surface de l'eau, mesuré et calculé. Les passages du modèle HEC-2 qui ont effectivement servi à l'étalonnage du modèle WATQUAL sont illustrés à la figure 4-3.

4.1.3 *Homologation*

La figure 4-2 compare le profil mesuré de la surface de l'eau avec le

Tableau 4-1. Coefficients de rugosité épurés pour chaque tronçon

Tronçon entre sections transversales	Distance en pi	Valeurs N de Manning
46000 - 40000	6000	,035
40000 - 39000	1000	,045
39000 - 31000	8000	,035
31000 - 30000	1000	,042
30000 - 27000	3000	,040
27000 - 26500	500	,025
26500 - *26400	100	,075
*26400 - 25000	1400	,070
25000 - 24000	1000	,090
24000 - 23000	1000	,040
23000 - 22000	1000	,083
22000 - 19000	3000	,063
19000 - 18000	1000	,040
18000 - 16000	2000	,050
16000 - 15000	1000	,080
15000 - *14000	1000	,045
*14000 - 9000	5000	,070
9000 - 6500	2500	,020
6500 - 5500	1000	,080
5500 - 5000	500	,025
5000 - 2000	3000	,044
2000 - 1000	1000	,060

* section transversale interpolée

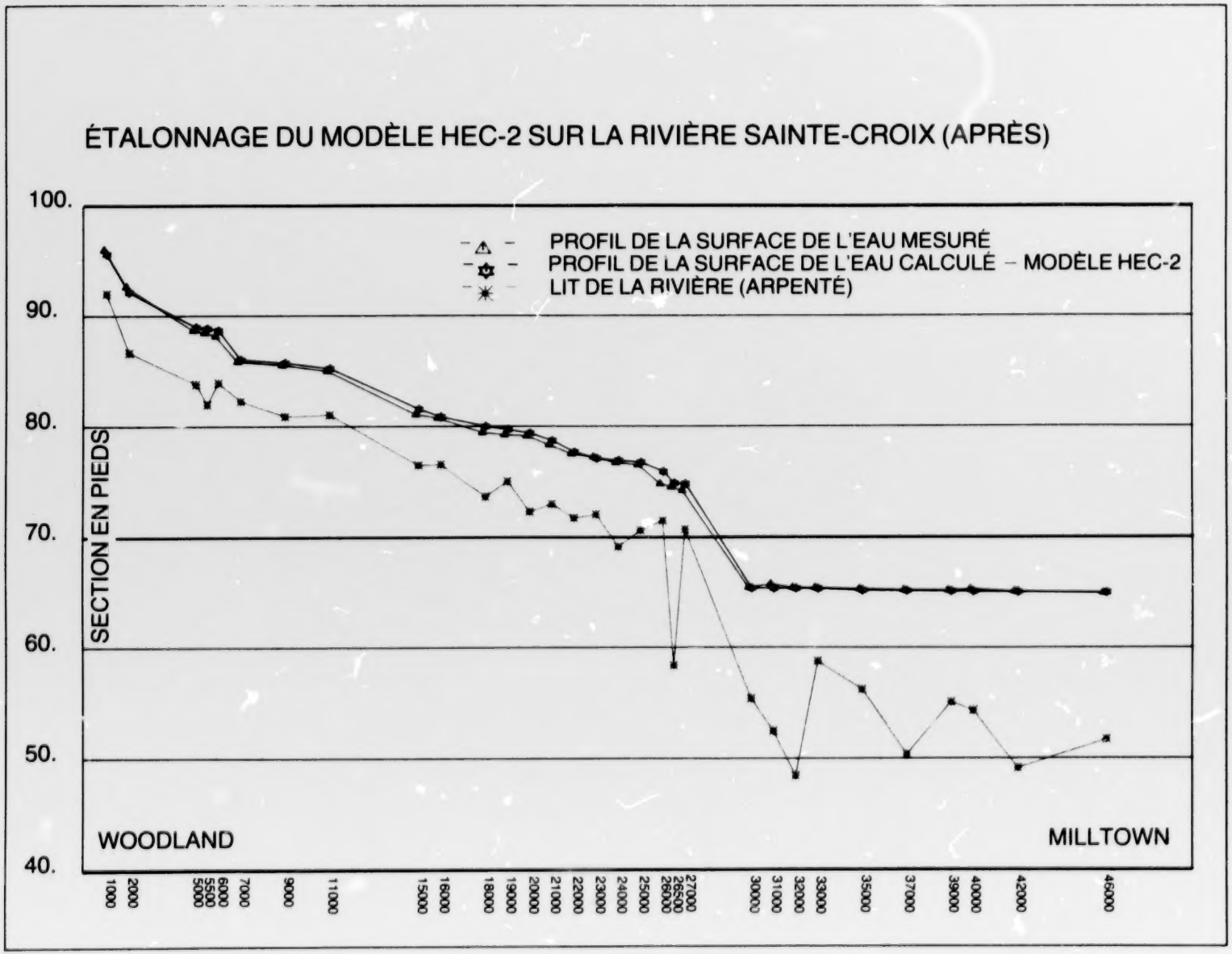

Figure 4-2. Etalonnage final du modèle HEC-2. Les chiffres le long de l'axe horizontal représentent le nombre de stations de chaînage.

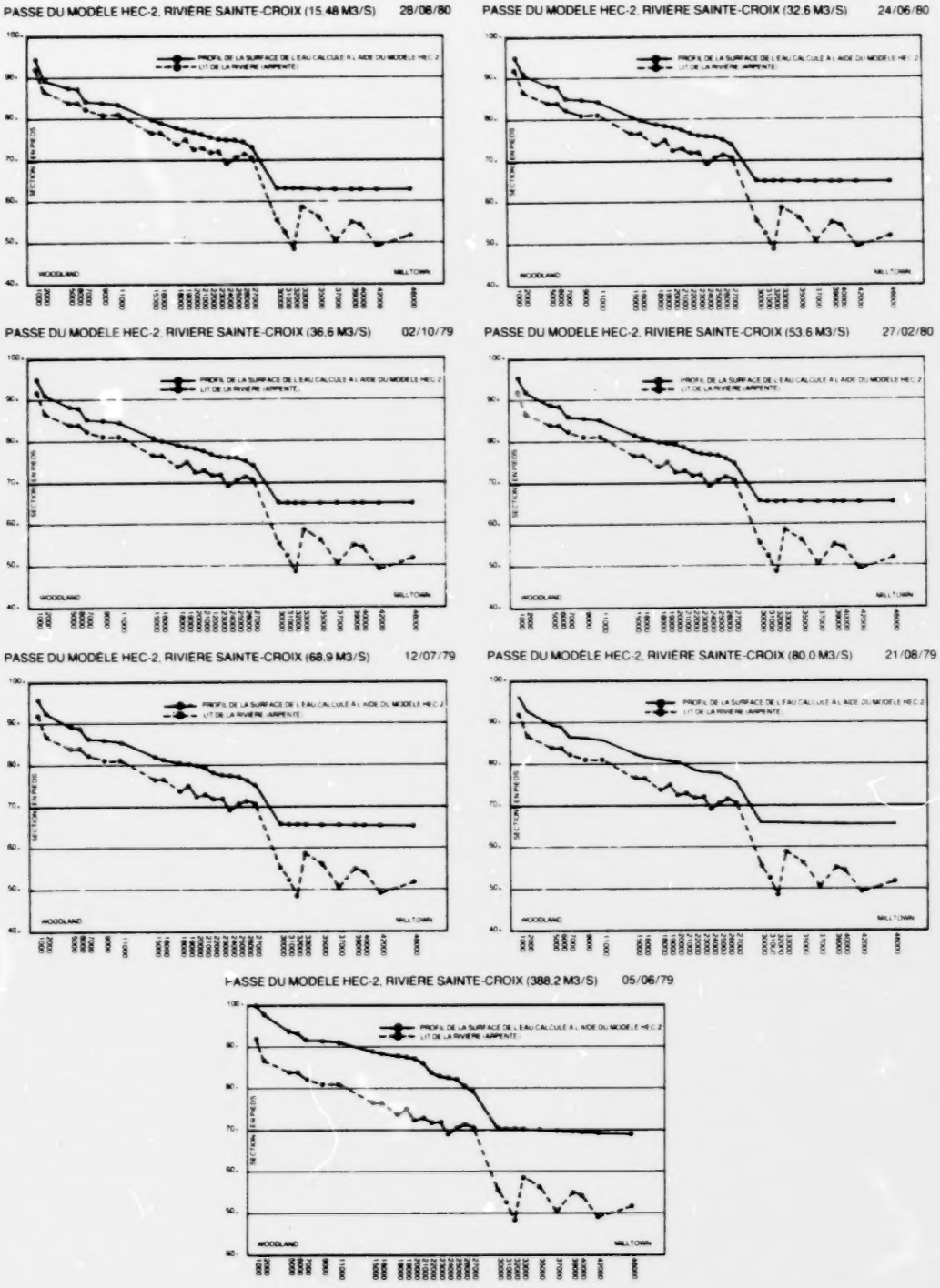

Figure 4-3. Passes du modèle HEC-2 utilisées pour étalonner le modèle WATQUAL.

profil calculé à l'aide du modèle HEC-2. Les résultats montrent que l'étalonnage est bon en ce que la différence entre l'élévation mesurée et l'élévation calculée de l'eau ne dépasse pas 0,10 pi. Cet étalonnage est représentatif des conditions réelles sur le terrain lorsque les débits de la rivière sont d'environ 51 m^3/s (1818 pi^3/s).

Une élévation approximative a été utilisée au départ, au poste 46000 pour effectuer les passes du modèle HEC-2. Cette hypothèse influe seulement sur l'élévation calculée entre les postes 46000 et 30000. En amont du poste de chaînage 27000, il n'y a pas de transfert d'effet hydraulique parce que cet endroit a été désigné comme point de contrôle dans le chenal de la rivière.

4.2 Modèle WATQUAL - pour étudier la qualité de l'eau

4.2.1 *Description du programme*

Le programme WATQUAL est un modèle unidimensionnel pour la simulation de la qualité de l'eau, conçu pour calculer les profils d'O.D. dans le chenal d'une rivière lorsque l'eau de la rivière est chargée de déchets qui exercent une demande biochimique d'oxygène. Le programme est une version simplifiée et restructurée d'un segment d'écoulement d'un modèle plus complexe utilisé pour étudier la qualité de l'eau qui a été mis au point par Acres Consulting Services et décrit dans leur rapport (3) du mois d'août 1971. Le modèle original a été condensé dans sa forme actuelle pour qu'il soit plus facile de l'appliquer à des systèmes isolés avec des données vraies et pour faciliter l'étalonnage. Avec ce modèle, on utilise des paramètres hydrauliques du modèle HEC-2, tels que la superficie de la section transversale et la largeur de la surface; ce modèle permet une réaération atmosphérique et combine ces données avec les concentrations d'effluent et des vitesses de dégradation des matières organiques pour évaluer les teneurs en O.D.

4.2.2 *Etalonnage*

Le modèle WATQUAL a été étalonné à l'aide des valeurs relatives à la quantité et à la qualité de l'eau recueillies par la Direction de la qualité des eaux (6) et résumées au tableau 4-2. Au cours de sept échantillonnages, on a mesuré la teneur en O.D. à proximité des rivages américain et canadien et au milieu de la rivière; on a ensuite établi la moyenne des résultats à cinq transects. Kellyland, un endroit situé en amont de l'usine de papier et qui servait de témoin, n'a été échantillonné que du côté canadien.

Les premières simulations à l'aide du modèle WATQUAL ont été effectuées en se servant des valeurs mesurées de la D.B.O. et d'une valeur estimée pour la vitesse de dégradation des matières organiques. Des passes supplémentaires ont été effectuées pour ajuster les vitesses de dégradation jusqu'à ce que les résultats du modèle simulent de façon satisfaisante les valeurs mesurées sur le terrain. A la figure 4-4, on compare les teneurs en O.D. simulées avec les valeurs mesurées sur le terrain. Les vitesses de dégradation (K_r) après étalonnage sont indiquées dans le tableau 4-3 et à la figure 4-5.

La demande en oxygène engendrée par les sédiments en décomposition dans la rivière est un autre facteur important ajouté au modèle WATQUAL original. La demande en oxygène benthique, due à la respiration des bactéries dans la sédimentation, a été liée à la température de l'eau par une équation mathématique basée sur la fixation de l'oxygène calculée pour la rivière Sainte-Croix par Nolan et Johnson (7) (Voir la figure 4-6).

Tableau 4-2. Valeurs relatives à la quantité et à la qualité de l'eau utilisées pour étalonner le modèle WATQUAL

ate	Débit de la rivière*	Charge en D.B.O. 5 jours	Poste	Température (°C)	Teneur moyenne en OD en ppm d'une section
08/80	15,5 m^3/sec	5900 kg/jour	Kellyland	22,5°C	8,6
			Woodland	22,5	-
			Bailey Rips	22,5	-
			Haywood Is.	22,5	-
			Baring	22,5	-
			Milltown	22,5	0,0
06/80	32,6 m^3/sec	2287 kg/jour	Kellyland	22,5	8,7
			Woodland	-	-
			Bailey Rips	-	-
			Haywood Is.	-	-
			Baring	23,0	7,6
			Milltown	23,0	5,9
02/80	53,6 m^3/sec	1555 kg/jour	Kellyland	0,5	13,0
			Woodland	-	-
			Bailey Rips	-	-
			Haywood Is.	-	-
			Baring	-	12,9
			Milltown	-	12,8
10/79	36,6 m^3/sec	2486 kg/jour	Kellyland	-	10,5
			Woodland	-	-
			Bailey Rips	-	-
			Haywood Is.	-	-
			Baring	8,6	8,8
			Milltown	8,2	8,4
08/79	80,0 m^3/sec	1552 kg/jour	Kellyland	17,0	9,5
			Woodland	17,0	8,5
			Bailey Rips	17,0	8,5
			Haywood Is.	17,0	8,6
			Baring	17,0	8,0
			Milltown	17,5	7,7
07/79	68,9 m^3/sec	3081 kg/jour	Kellyland	22,0	8,6
			Woodland	23,0	8,0
			Bailey Rips	24,0	7,2
			Haywood Is.	25,0	6,9
			Baring	23,0	6,4
			Milltown	21,5	6,8
6/79	338,2 m^3/sec	1980 kg/jour	Kellyland	16,5	12,8
			Woodland	17,0	8,8
			Bailey Rips	-	-
			Haywood Is.	-	-
			Baring	15,1	9,2
			Milltown	15,1	9,2

*après les données de l'usine de papier Georgia-Pacific

71/2629 HB

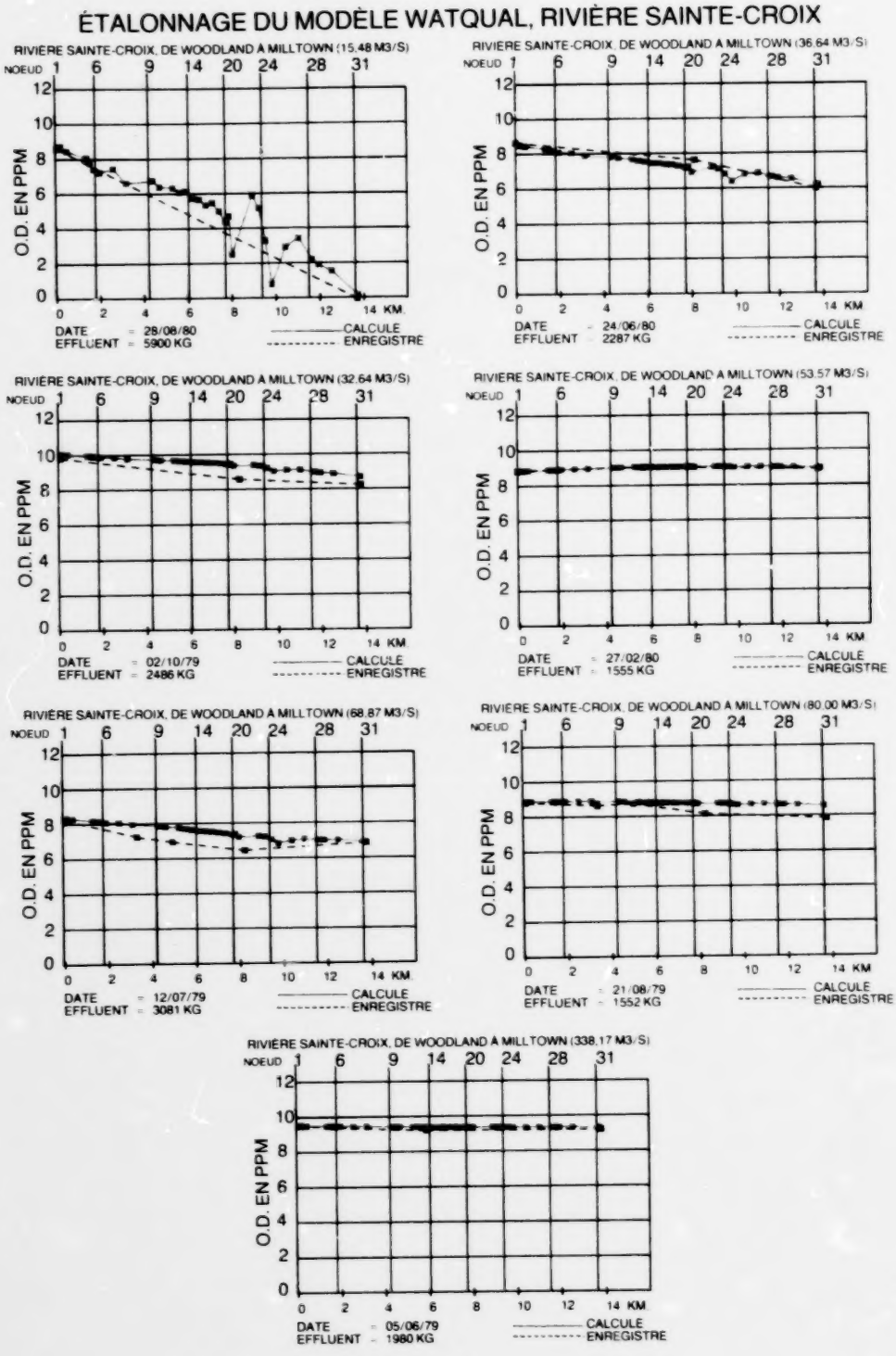

Figure 4-4. Comparaison des niveaux d'oxygène dissous calculés, avec les valeurs enregistrées sur le terrain.

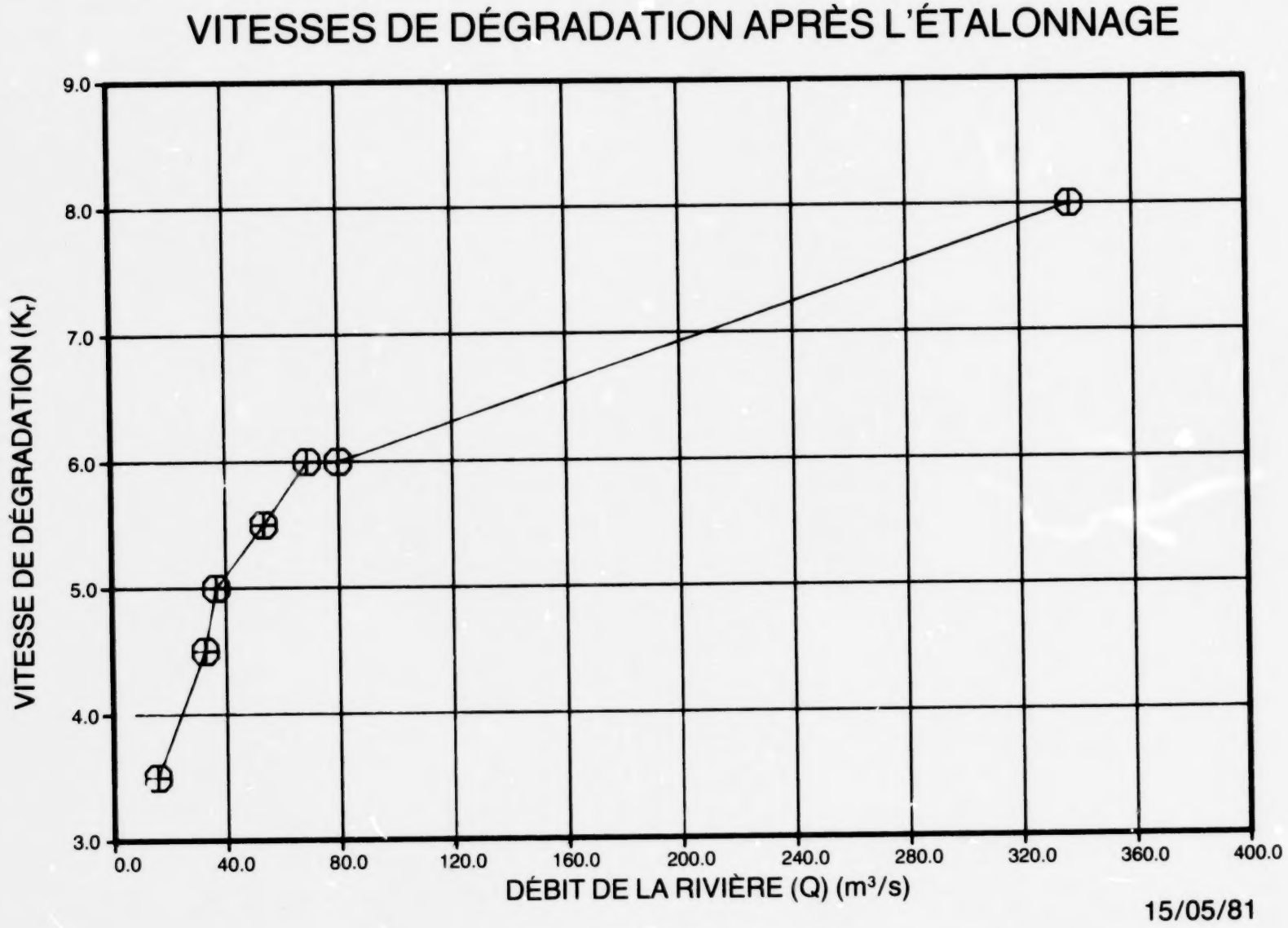

Figure 4-5. Vitesses de dégradation après l'étalonnage.

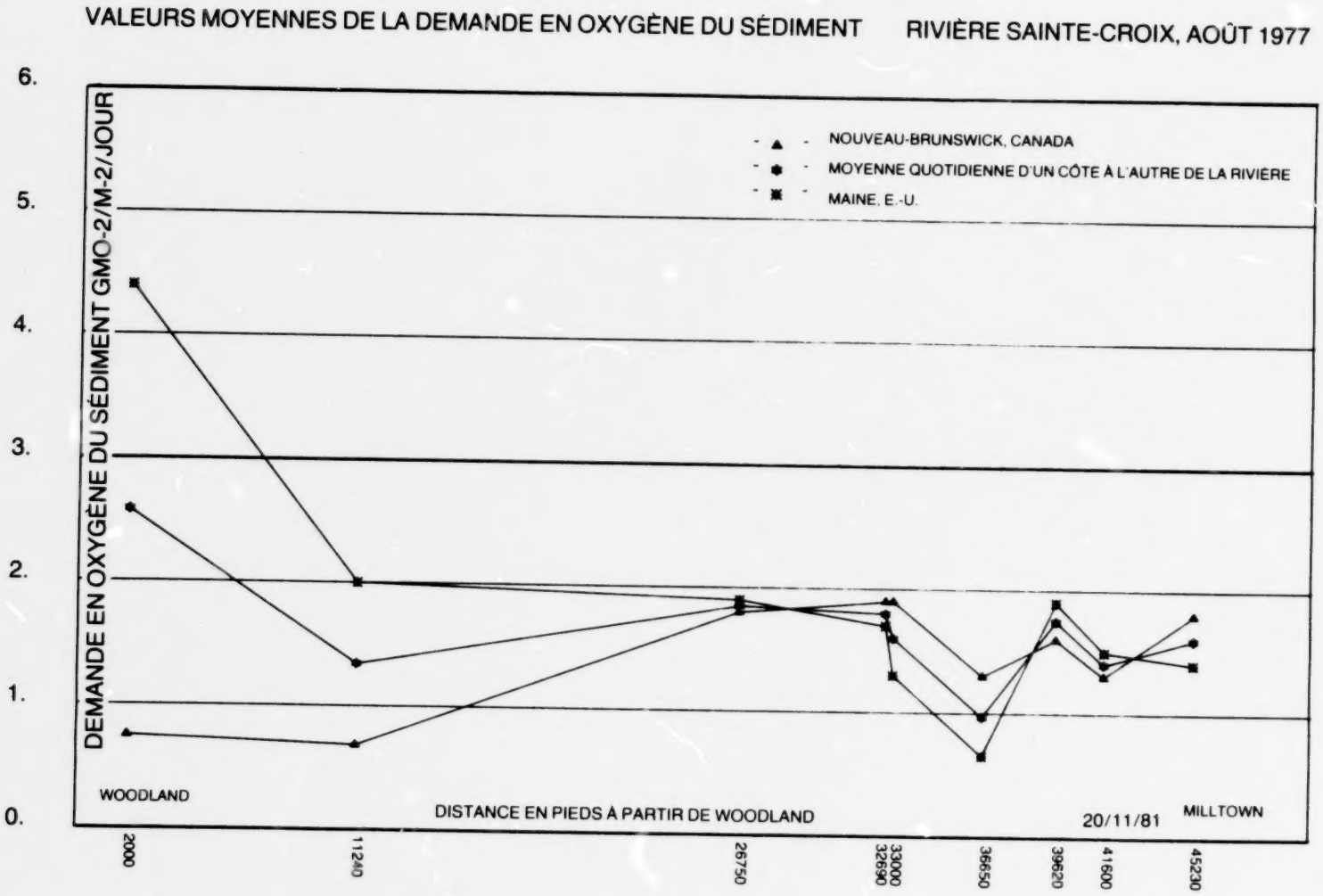

Figure 4-6. Demande en oxygène des sédiments.

Tableau 4-3. Vitesse de dégradation des matières organiques pour des déversements d'effluents et des débits de la rivière donnés

Date	Débit de la rivière (m^3/s)	Déversement d'effluents (kg)	Valeur de K_r
28/08/80	15,48	5900	3,5
24/06/80	32,64	2287	4,5
27/02/80	53,57	1555	5,5
02/10/79	36,64	2486	5,0
21/08/79	80,00	1552	6,0
12/07/79	68,87	3081	6,0
05/06/79	338,17	1980	8,0

Les mesures de laboratoire pour les demandes en oxygène engendrées par les sédiments ont indiqué une moyenne élevée de 3,6 g O_2/m^2/jour en amont près des effluents et une diminution jusqu'à 1 à 2 g O_2/m^2/jour plus en aval.

4.2.3 *Homologation du modèle WATQUAL*

Dans la Figure 4-3, on compare l'O.D. mesuré à l'O.D. calculé à l'aide du modèle WATQUAL. Les résultats montrent que l'étalonnage est bon puisque les différences entre les concentrations d'O.D. mesurées et calculées ne dépassent pas 1,0 ppm.

Cet étalonnage est représentatif de l'évaluation réelle en laboratoire des courbes d'épuisement de l'O.D. On peut voir sur la figure 4-5 que la courbe formée par la vitesse de dégradation (K_r) par rapport au débit de la rivière (Q) est asymptotique.

Les vitesses de dégradation étalonnées (K_r) élevées sont dues à la désoxygénation causée par les effluents. La désoxygénation qui décrit les changements de demande en oxygène est due à divers facteurs tels la sédimentation, la turbulence, la croissance biologique dans le lit de la rivière, les déficiences nutricielles et les bactéries non acclimatées.

5. RESULTATS ET DISCUSSION

Les deux modèles ayant été étalonnés et homologués, une série de passes ont été effectuées pour simuler diverses conditions de température, de charge et de débit. On trouvera au tableau 5-1 les conditions de départ qui ont servi aux simulations.

Il faut remarquer que les données utilisées pour l'étalonnage du modèle WATQUAL ont été recueillies au cours d'années différentes. Les données qualitatives et quantitatives de l'eau, fournies par la Division de la qualité de l'eau de Moncton, couvrent les années 1979 et 1980 tandis que celles concernant la demande en oxygène engendrée par les sédiments et fournies par la U.S. Protection Agency ont été recueillies en 1977.

Tableau 5-1. Paramètres modelés dans les simulations WATQUAL

Température de l'eau:	(°C)	0	10	18	25
	(°F)	32	50	64	77
Charges d'effluents:					
kg BOD_5/jour		455	2272	4545	6818
lbs BOD_5/jour		1000	5000	10000	15000
Débit de la rivière:					
(m^3/s)		21	71	142	
(pi^3/s)		750	2500	5000	

Les sections transversales arpentées par le Corps of Engineers de l'armée américaine datent de 1967.

5.1 HEC-2

La forme de la rivière Sainte-Croix varie tout au long du tronçon de 14 km à l'étude de sorte que sa vitesse d'écoulement varie considérablement. A Woodland, la rivière est étroite et peu profonde; sa vitesse moyenne est de 1,0 m/s pour un débit de 21 m^3/s et elle est de 1,65 m/s pour un débit de 142 m^3/s. En amont et en aval de Upper Mills-Baring, cependant, la rivière forme des lacs profonds dont la vitesse d'écoulement atteint à peine 0,036 m/s pour un débit de 21 m^3/s et 0,12 m/s pour un débit de 142 m^3/s. En aval, dans la direction de Milltown, la rivière se rétrécit de nouveau et ceci s'accompagne d'une augmentation de la vitesse du débit.

5.2 WATQUAL

Les résultats de la simulation à l'aide du modèle WATQUAL sont illustrés dans les figures 5-1 à 5-3 et les tableaux 5-2 à 5-4. Les figures et les tableaux indiquent la teneur moyenne en O.D. prévue à un point quelconque du tronçon à l'étude pour une température, une charge et un débit donnés. D'après les résultats, on ne prévoit pas de variation importante des teneurs en O.D. de Woodland à Milltown lorsque la température est de 0°C, même lorsque le niveau d'eau et les déversements d'effluent varient puisqu'il ne se produit qu'une très faible dégradation. Cependant, lorsque les températures sont plus élevées, de plus fortes charges d'effluent et un débit faible de la rivière se traduisent par un abaissement des concentrations d'oxygène. Si une teneur de 6,0 ppm d'O.D. est considérée comme une norme acceptable pour le passage des poissons, lorsque le débit n'est que de 21 m^3/s on ne devrait pas permettre des déversements d'effluents supérieurs à 4545 kg de DBO/jour lorsque la température de l'eau dépasse 18°C. Lorsque le débit de la rivière se situe entre 71 m^3/s et 142 m^3/s, la teneur en O.D. approche des limites inacceptables seulement lorsque la température atteint 25°C et que les apports d'effluent dépassent 4545 kg/jour. Le modèle montre que le débit de la rivière est probablement la variable la plus importante pour le contrôle de la teneur en O.D. dans la rivière Sainte-Croix, et ce paramètre devient critique lorsque le débit est extrêmement faible.

Il faut souligner que les valeurs prévues à chaque noeud sont des valeurs moyennes de sections transversales. Etant donné que la nappe d'effluents reste du côté américain de la rivière jusqu'à Upper Mills-Baring et n'est bien mélangée qu'en aval de ce point, la simulation à l'aide du modèle en amont de cette zone ne fournit pas une description réaliste de la qualité de l'eau. On ne peut pas appliquer le modèle aux neuf (9) premiers kilomètres de la rivière, à l'endroit où on peut supposer la présence du poisson du côté canadien où l'oxygène dissous est en général près du niveau de saturation. En aval d'Upper Mills-Baring, cependant, les effluents sont mélangés d'un bord à l'autre de la rivière et les teneurs moyennes en O.D. traduisent effectivement les conditions réelles. Les teneurs en O.D. simulées sont donc des plus précises entre les postes (noeuds) 21 à 31; les valeurs pour les postes 1 à 20 influencent les résultats pour les points suivants. Ces limites inhérentes à une modélisation unidimensionnelle sont inévitables puisqu'on ne disposait pas des informations nécessaires pour une étude bidimensionnelle plus complète.

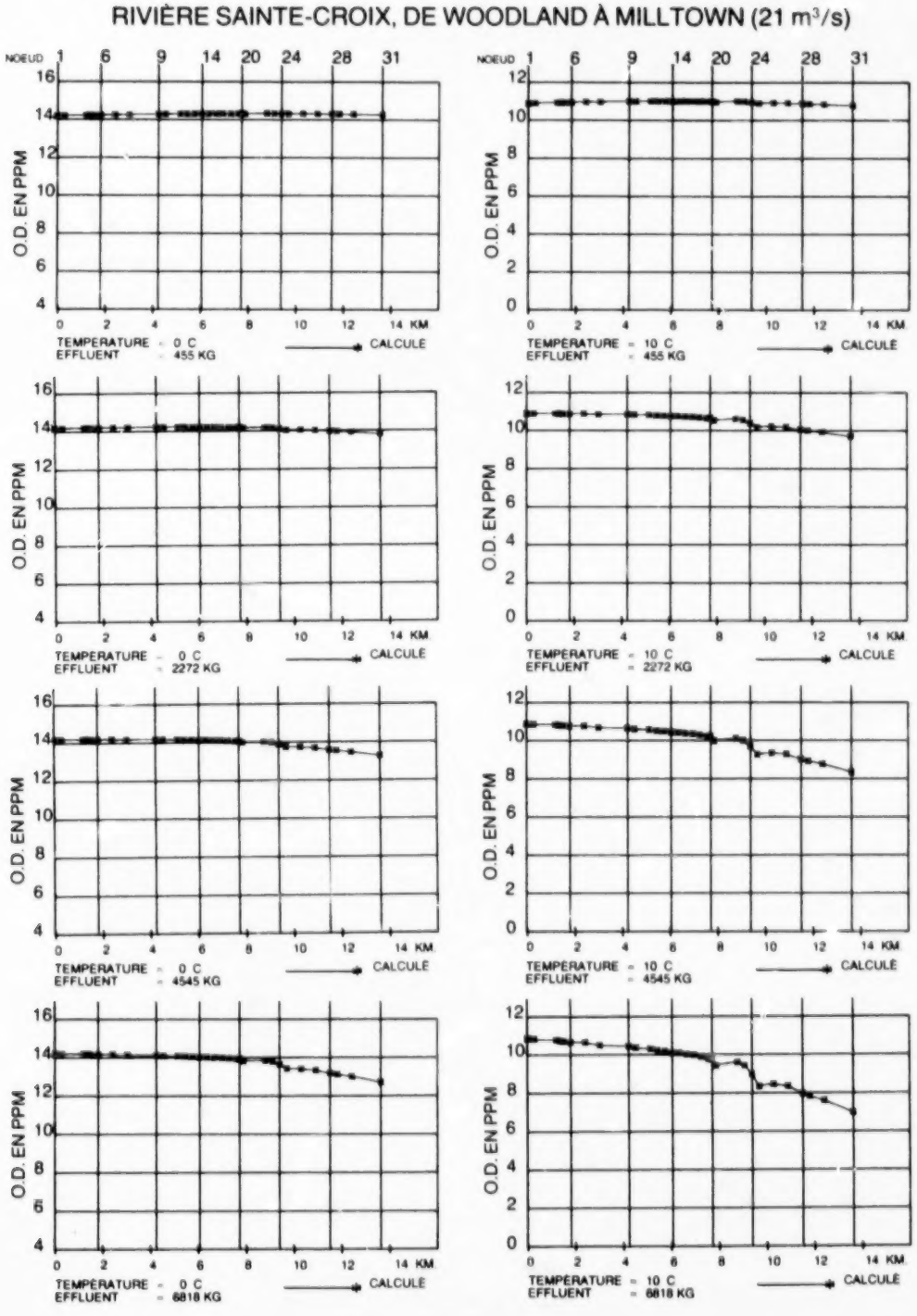

Figure 5-1. Simulation de la teneur en oxygène dissous, débit de 21 m^3/s.

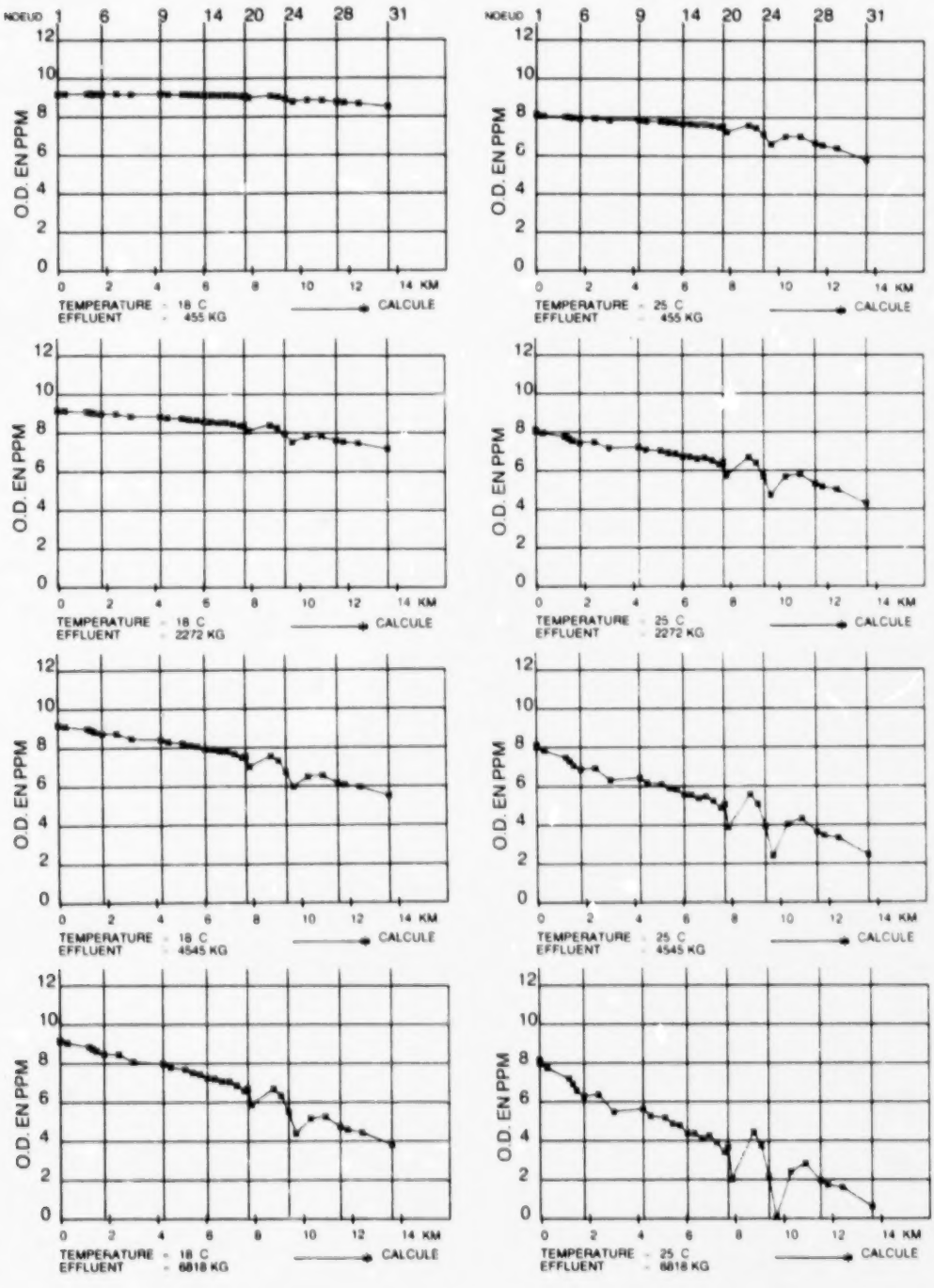

Figure 5.1. (suite)

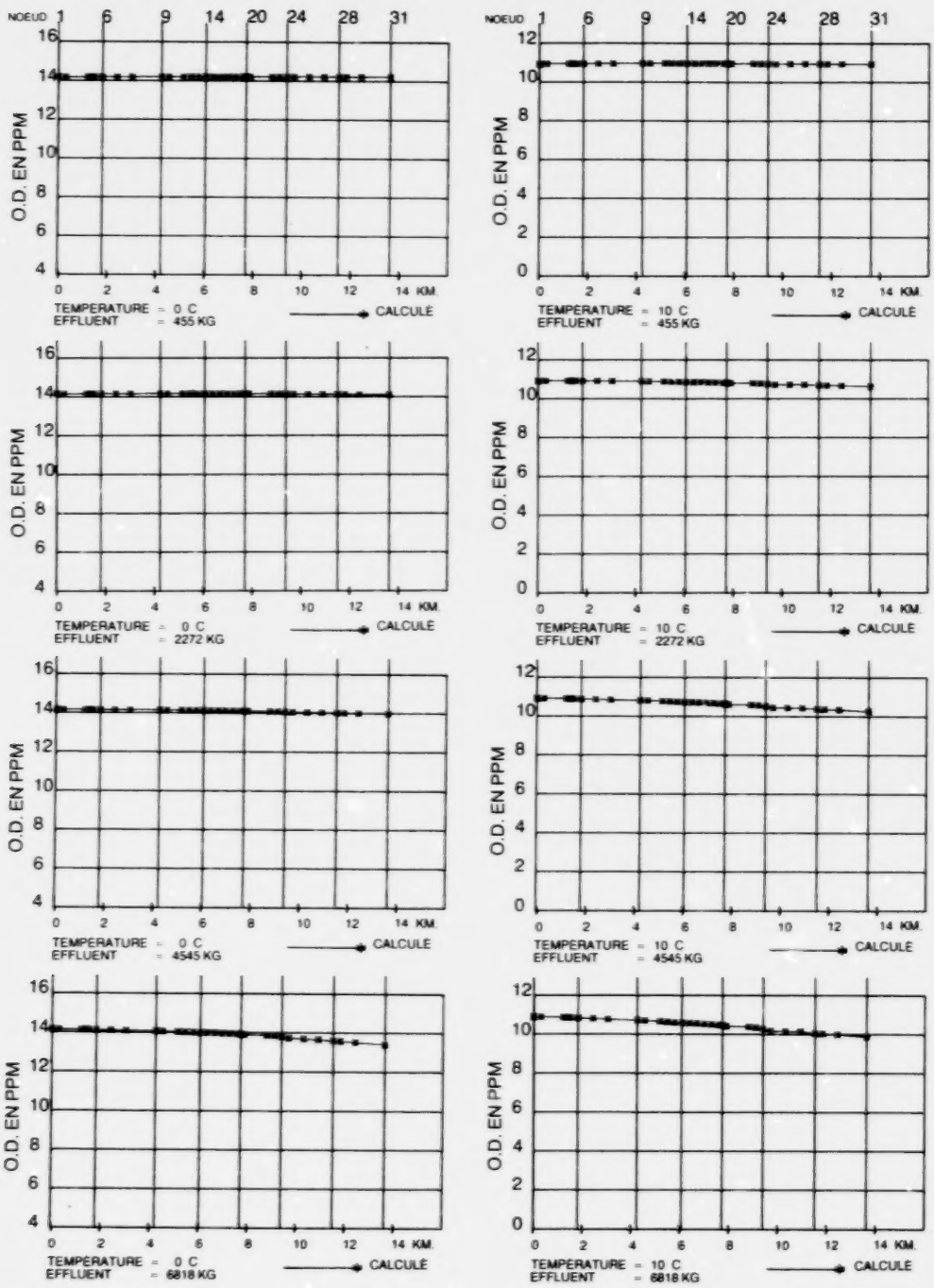

Figure 5-2. Simulation de la teneur en oxygène dissous, débit de 71 m^3/s.

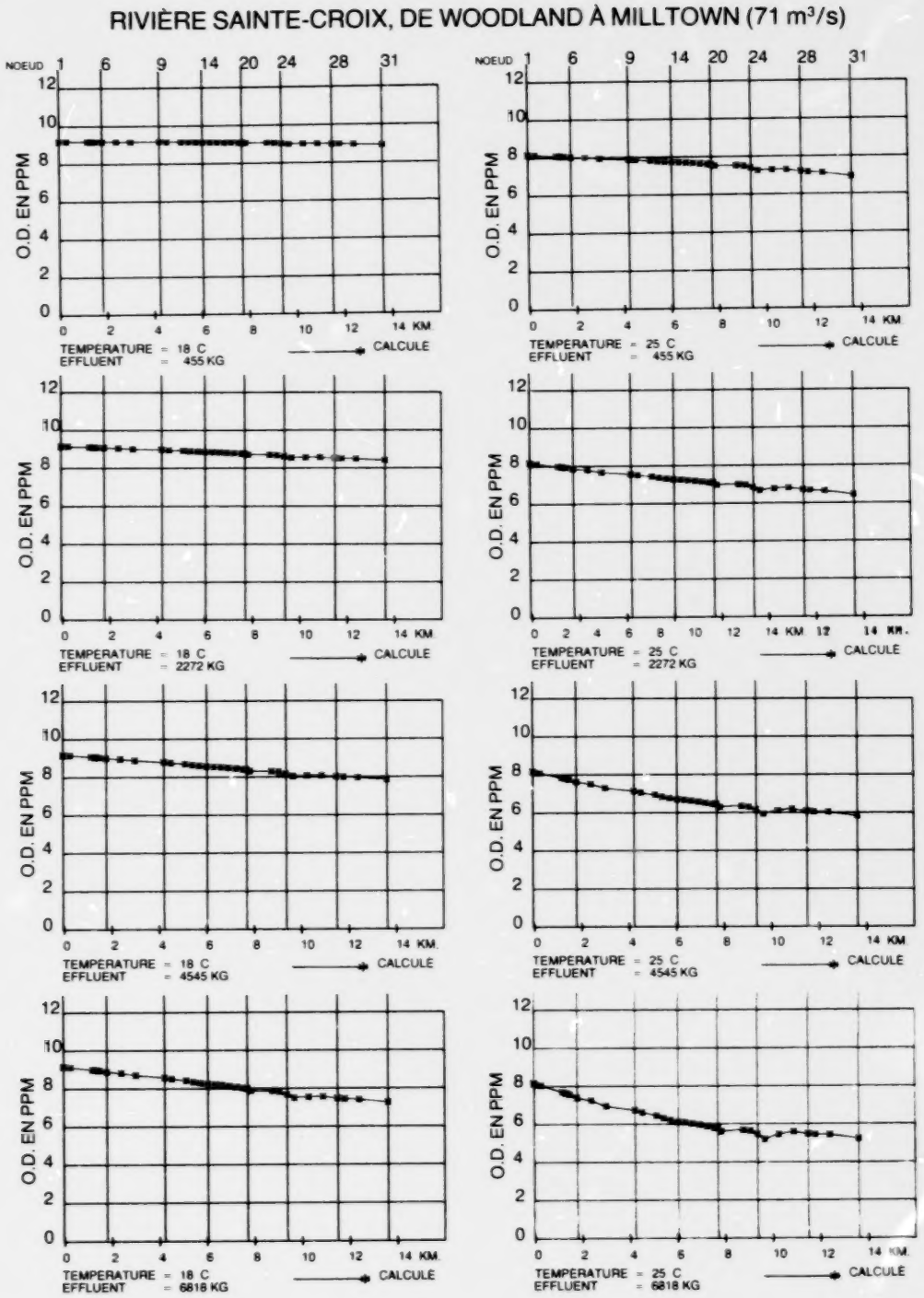

Figure 5.2. (suite)

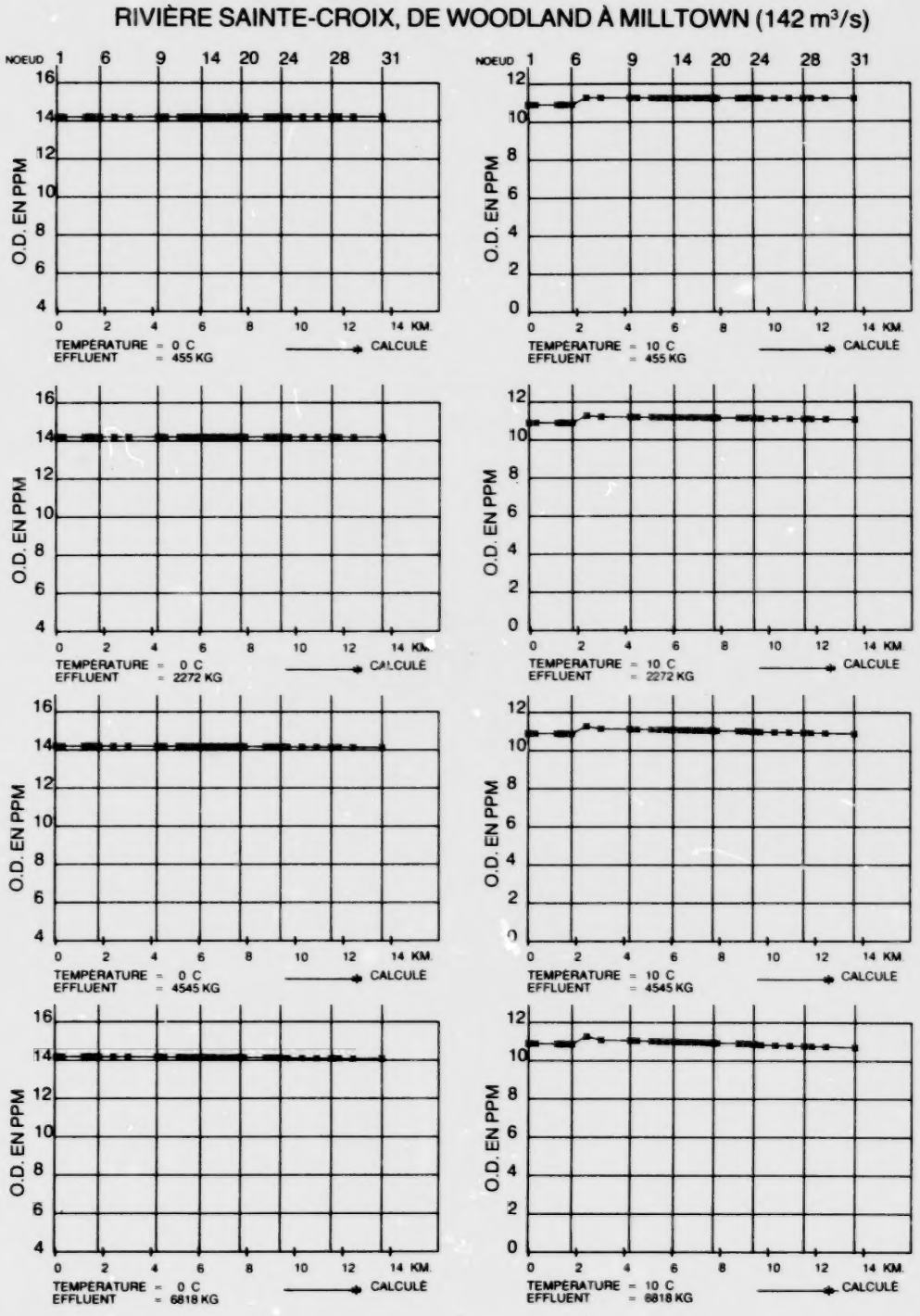

Figure 5-3. Simulation de la teneur en oxygène dissous, débit de 142 m^3/s.

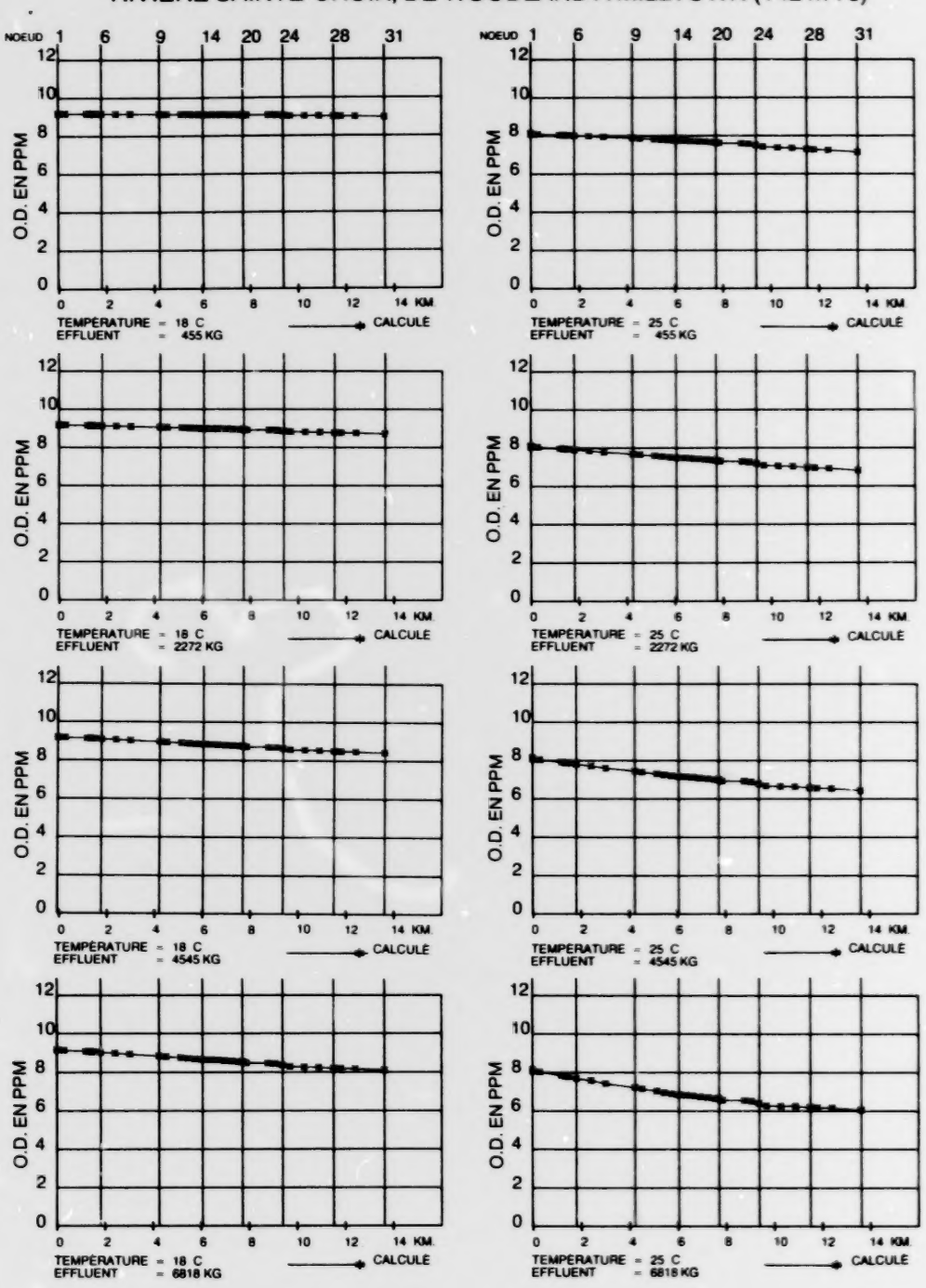

Figure 5.3. (suite)

Tableau 5-2. Débits de la rivière Sainte-Croix (21 m^3/s) avec concentrations en O. D. simulées

Poste	Débit d'effluent 455 kg/jour				Débit d'effluent 2272 kg/jour				Débit d'effluent 4545 kg/jour				Débit d'effluent 6818 kg/jour			
	O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de			
	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C
1	14,20	10,90	9,20	8,10	14,20	10,90	9,20	8,10	14,20	10,90	9,20	8,10	14,20	10,90	9,20	8,10
2	,21	,91	,21	,08	,20	,90	,17	7,99	,19	,88	,12	7,88	,19	,88	,05	7,77
3	,23	,94	,22	,03	,22	,91	,12	80	,20	,86	8,99	,50	,19	,81	8,87	,21
4	,23	,94	,21	,00	,22	,90	,08	,70	,20	,84	,92	,31	,19	,78	,76	6,93
5	,23	,94	,20	7,97	,21	,88	,04	,58	,19	,81	,84	,09	,18	,74	,64	,60
6	,24	,96	,21	,94	,22	,88	,00	,47	,19	,79	,75	6,89	,17	,69	,50	,30
7	,26	,99	,23	,96	,23	,90	,01	,51	,20	,79	,74	,95	,16	,68	,47	,39
8	,27	,99	,20	,85	,23	,86	8,88	,18	,19	,71	,49	,34	,17	,55	,09	5,50
9	,30	11,02	,21	,87	,25	,87	,86	,23	,19	,67	,43	,44	,14	,48	7,99	,65
10	,30	,02	,20	,82	,25	,85	,81	,10	,18	,63	,32	,20	,13	,41	,82	,30
11	,31	,03	,19	,80	,25	,83	,77	,06	,17	,59	,23	,13	,11	,34	,70	,20
12	,31	,03	,18	,75	,24	,81	,71	6,94	,16	,54	,12	5,92	,09	,26	,53	4,90
13	,32	,03	,17	,74	,24	,80	,68	,90	,15	,51	,07	,85	,07	,22	,45	,80
14	,32	,03	,15	,68	,24	,77	,61	,74	,14	,45	7,93	,58	,06	,14	,26	,41
15	,32	,03	,15	,67	,24	,77	,60	,74	,13	,44	,91	,57	,04	,11	,23	,40
16	,32	,03	,14	,63	,23	,75	,55	,63	,12	,40	,82	,38	,03	,05	,08	,13
17	,32	,03	,14	,64	,23	,74	,55	,68	,12	,38	,81	,48	,01	,02	,07	,28
18	,32	,02	,12	,58	,22	,71	,48	,54	,10	,32	,68	,23	,00	9,93	6,88	3,92
19	,32	,02	9,09	,50	,21	,67	,39	,34	,07	,24	,51	4,89	13,97	,80	,63	,44
20	,33	10,99	,10	,54	,22	,68	,41	,44	,08	,25	,56	5,08	,94	,82	,70	,71
21	,32	11,03	,01	,26	,18	,55	,13	5,77	,01	,01	,02	3,91	,83	,46	5,91	2,04
22	,34	,01	,10	,60	,20	,63	,42	,71	,03	,13	,56	5,58	,86	,64	6,71	4,46
23	,34	10,98	,06	,47	,19	,57	,29	,42	13,99	,02	,33	,10	,80	,46	,37	3,78
24	,33	,92	8,95	,13	,14	,42	7,98	,71	,90	9,72	6,75	3,94	,66	,01	5,53	2,17
25	,32	,94	,80	6,62	,07	,19	,55	,76	,75	,28	5,99	2,42	,44	8,37	4,43	0,09
26	,33	,94	,88	7,01	,07	,24	,82	5,70	,74	,36	6,50	4,06	,42	,48	5,18	2,41
27	,33	,94	,88	,02	,05	,21	,85	,83	,70	,30	,56	,33	,35	,39	,27	,84
28	,32	,90	,79	6,69	,00	,07	,64	,35	,60	,03	,20	3,67	,19	7,99	4,77	1,98
29	,32	,89	,75	,67	13,98	,02	,57	,20	,56	8,94	,09	,47	,13	,85	,62	,75
30	,31	,87	,71	,42	,94	9,94	,49	,05	,48	,79	5,98	,33	,02	,63	,46	,62
31	,29	,81	,55	5,81	,84	,72	,21	4,33	,28	,36	,53	2,48	12,73	,00	3,86	,64
Ecart de	+0,09	-0,09	-,65	-2,29	-0,16	-1,18	-1,99	-3,77	-0,92	-2,54	-3,67	-5,62	-1,47	-3,90	-5,34	-7,46

Tableau 5-3. Débits de la rivière Sainte-Croix (71 m^3/s) avec concentrations en O. D. simulées

Poste	Débit d'effluent 455 kg/jour				Débit d'effluent 2272 kg/jour				Débit d'effluent 4545 kg/jour				Débit d'effluent 6818 kg/jour			
	O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de			
	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C
1	14,16	10,92	9,18	8,17	14,16	10,92	9,18	8,16	14,16	10,92	9,17	8,14	14,16	10,92	9,16	8,13
2	,17	,93	,19	,16	,16	,92	,18	,13	,16	,92	,16	,10	,16	,91	,14	,06
3	,17	,94	,18	,10	,17	,92	,14	7,99	,16	,90	,08	7,85	,15	,88	,02	7,71
4	,17	,94	,18	,09	,17	,92	,13	,96	,16	,89	,06	,80	,15	,87	,00	,64
5	,17	,94	,18	,08	,17	,92	,12	,94	,16	,89	,05	,76	,15	,86	8,97	,58
6	,18	,94	,18	,05	,17	,91	,10	,86	,16	,88	,91	,63	,15	,84	,91	,40
7	,18	,95	,18	,02	,17	,90	,08	,80	,16	,87	8,97	,53	,15	,82	,85	,25
8	,18	,95	,17	7,96	,17	,90	,04	,68	,16	,84	,88	,32	,14	,78	,73	6,96
9	,20	,96	,17	,91	,18	,89	,00	,57	,16	,82	,80	,16	,13	,74	,60	,74
10	,20	,96	,16	,88	,18	,89	8,98	,52	,15	,80	,76	,07	,13	,71	,54	,62
11	,20	,96	,15	,84	,18	,88	,95	,44	,15	,78	,70	6,95	,12	,68	,45	,46
12	,20	,96	,14	,80	,17	,87	,92	,37	,14	,76	,65	,84	,11	,65	,37	,31
13	,20	,96	,13	,77	,17	,86	,90	,33	,14	,74	,61	,77	,11	,62	,31	,22
14	,20	,96	,13	,74	,17	,85	,88	,28	,14	,73	,57	,70	,10	,60	,26	,12
15	,20	,96	,12	,73	,17	,85	,87	,27	,13	,72	,56	,68	,10	,59	,24	,10
16	,20	,96	,12	,71	,17	,85	,86	,24	,13	,71	,53	,64	,09	,57	,20	,04
17	,20	,96	,11	,69	,17	,84	,84	,19	,13	,69	,40	,58	,09	,55	,15	5,97
18	,20	,95	,11	,66	,17	,83	,82	,15	,12	,68	,46	,52	,08	,52	,10	,89
19	,20	,95	,10	,63	,17	,82	,79	,11	,12	,66	,42	,46	,07	,49	,04	,81
20	,20	,95	,10	,63	,17	,82	,79	,11	,12	,65	,41	,47	,07	,49	,04	,93
21	,20	,95	,07	,55	,16	,80	,74	6,99	,11	,61	,32	,30	,05	,43	7,90	,60
22	,21	,95	,07	,54	,16	,79	,73	7,01	,10	,59	,31	,35	,04	,39	,88	,69
23	,21	,95	,07	,51	,16	,78	,72	6,98	,10	,57	,28	,31	,04	,37	,84	,65
24	,21	,94	,04	,42	,15	,76	,66	,86	,08	,52	,18	,16	,01	,29	,70	,47
25	,21	,93	,00	,27	,14	,72	,58	,68	,06	,45	,05	5,94	13,98	,18	,52	,20
26	,21	,94	,01	,31	,14	,72	,60	,78	,06	,44	,08	6,12	,97	,16	,56	,45
27	,22	,94	,01	,31	,14	,71	,60	,82	,05	,43	,09	,21	,96	,14	,58	,60
28	,22	,94	8,99	,22	,14	,69	,56	,72	,04	,38	,02	,10	,94	,07	,49	,48
29	,22	,93	,98	,18	,13	,68	,54	,69	,03	,37	,00	,07	,93	,05	,46	,45
30	,22	,93	,97	,13	,13	,67	,52	,65	,02	,34	7,97	,04	,91	,01	,42	,44
31	,22	,92	,92	6,95	,12	,63	,45	,46	13,99	,26	,87	5,85	,86	9,89	,28	,24
Ecart de	+0,06	0,00	-0,26	-1,22	-0,04	-0,29	-0,73	-1,70	-0,17	-0,66	-1,30	-2,29	-0,30	-1,03	-1,88	-2,89

Tableau 5-4. Débits de la rivière Sainte-Croix (142 m^3/s) avec concentrations en O. D. simulées

Poste	Débit d'effluent 455 kg/jour				Débit d'effluent 2272 kg/jour				Débit d'effluent 4545 kg/jour				Débit d'effluent 6818 kg/jour			
	O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de				O.D. calculé à une température de			
	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C	0°C	10°C	18°C	25°C
1	14,20	10,90	9,20	8,10	14,20	10,90	9,20	8,09	14,20	10,90	9,20	8,08	14,20	10,90	9,20	8,07
2	,20	,90	,20	,09	,20	,90	,19	,08	,20	,90	,19	,06	,20	,89	,18	,04
3	,20	,91	,20	,05	,20	,90	,17	7,99	,20	,89	,19	7,92	,20	,89	,11	7,85
4	,20	,91	,19	,04	,20	,90	,17	,98	,20	,89	,14	,90	,19	,88	,10	,82
5	,21	,91	,19	,04	,20	,90	,16	,97	,20	,88	,14	,88	,19	,87	,09	,79
6	,21	,91	,19	02	,20	,89	,15	,93	,20	,88	,13	,81	,19	,86	,06	,70
7	,21	11,27	,19	7,99	,20	11,27	,14	,88	,20	11,27	,11	,74	,19	11,27	,02	,60
8	,21	,26	,18	,95	,20	,21	,12	,81	,20	,14	,08	,62	,19	,08	8,96	,44
9	,21	,25	,17	,89	,21	,19	,08	,71	,19	,12	,04	,57	,18	,05	,87	,24
10	,21	,25	,17	,87	,20	,19	,07	,67	,19	,11	8,98	,42	,18	,04	,84	,17
11	,22	,25	,16	,83	,20	,18	,05	,61	,19	,10	,95	,33	,18	,02	,78	,05
12	,22	,25	,15	,80	,20	,18	,03	,56	,19	,09	,92	,27	,17	,01	,74	6,97
13	,22	,25	,14	,78	,20	,17	,02	,53	,19	,08	,89	,22	,17	10,99	,71	,91
14	,22	,24	,14	,76	,20	,17	,01	,50	,18	,08	,86	,18	,17	,98	,68	,86
15	,22	,24	,14	,75	,20	,17	,00	,49	,18	,07	,85	,17	,16	,98	,67	,84
16	,22	,24	,13	,74	,20	,17	,00	,47	,18	,07	,84	,14	,16	,97	,65	,81
17	,22	,24	,13	,71	,20	,16	8,98	,44	,18	,06	,83	,10	,16	,96	,62	,76
18	,22	,24	,12	,69	,20	,16	,97	,42	,18	,06	,80	,07	,16	,95	,60	,72
19	,22	,24	,12	,67	,20	,15	,96	,38	,18	,05	,79	,02	,15	,94	,57	,67
20	,22	,24	,12	,67	,20	,15	,96	,38	,18	,05	,76	,02	,15	,94	,57	,66
21	,22	,24	,11	,62	,20	,15	,94	,32	,17	,03	,73	6,95	,15	,92	,51	,57
22	,22	,23	,10	,60	,20	,14	,93	,30	,17	,02	,71	,93	,14	,90	,49	,56
23	,22	,23	,10	,58	,20	,13	,92	,28	,17	,01	,69	,90	,14	,89	,46	,53
24	,22	,23	,08	,51	,20	,12	,88	,20	,16	10,99	,64	,81	,13	,86	,40	,42
25	,22	,22	,06	,43	,19	,11	,85	,10	,15	,97	,58	,69	,12	,83	,32	,29
26	,22	,22	,05	,39	,19	,10	,83	,07	,15	,95	,56	,67	,11	,81	,29	,28
27	,22	,21	,04	,36	,19	,09	,82	,05	,15	,94	,54	,66	,10	,79	,26	,27
28	,22	,21	,03	,30	,19	,08	,80	6,99	,14	,92	,51	,60	,10	,77	,22	,21
29	,22	,21	,03	,28	,19	,08	,79	,97	,14	,92	,50	,58	,09	,76	,21	,19
30	,23	,21	,02	,25	,19	,07	,78	,94	,14	,91	,48	,56	,09	,74	,19	,18
31	,23	,20	8,99	,14	,18	,06	,74	,84	,13	,88	,43	,45	,07	,70	,12	,07
Écart de	+0,03	+0,30	-0,21	-0,96	-0,02	+0,16	-0,46	-1,25	-0,07	-0,02	-0,77	-1,63	-0,13	-0,20	-1,08	-2,00

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

6.1 Modélisation

D'après le fonctionnement des modèles HEC-2 et WATQUAL, il faudrait apporter un certain nombre d'améliorations aux données de base:

(a) les sections transversales mesurées devraient être plus rapprochées, en particulier lorsque le débit critique est atteint dans la zone de Upper Mills-Baring. Le tronçon de 1 km entre les sections transversales 27000 et 30000 était trop long et la pente du lit de la rivière était trop abrupte pour pouvoir être traitée par le modèle.

(b) Un échantillonnage continu à court terme des effluents et du débit de la rivière donnerait plus de précision au modèle ce qui était impossible à partir des données relatives au débit moyen quotidien et de la D.B.O.

(c) D'après les résultats de l'étalonnage et de l'homologation, les prévisions effectuées à l'aide du modèle traduisent bien les conditions qu'on peut s'attendre à trouver dans la rivière.

6.2 Gestion de la qualité des eaux

(a) Les prévisions des modèles montrent que pour des températures égales ou supérieures à 18°C, avec le débit minimal actuellement autorisé qui est de 21 m^3/s, les teneurs en O.D. seront inférieures à 6,0 ppm si la charge en D.B.O. est supérieure à 4545 kg/jour.

(b) Bien que la teneur en O.D. soit le meilleur indicateur des conditions ambiantes dans une rivière en ce qui concerne la survie des poissons, cela n'explique pas complètement que la rivière soit un habitat pour les poissons. Des effets synergétiques entre les concentrations d'oxygène et les autres paramètres physiques et chimiques dans la rivière peuvent avoir des effets importants sur le milieu aquatique et la viabilité du poisson.

(c) Bien que la principale préoccupation concernant la rivière Sainte-Croix soit celle des niveaux d'oxygène dissous, il existe d'autres paramètres tels l'ammoniaque, l'azote total et les solides totaux en suspension, qui peuvent être préjudiciables aux poissons migrateurs. Ces paramètre sont tout indiqués pour l'utilisation future du modèle WATQUAL ou de tout autre modèle indiquant la qualité des eaux.

7. REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier D.H. Cullen et P.E. Belliveau, de la Direction de la qualité des eaux à Moncton et D.W. Farley de la Direction de la planification et de la gestion des eaux à Ottawa, pour leur appui et leur encouragement à la réalisation de cette étude et à la préparation du rapport, ainsi que S.H. Whitlow, Direction de la qualité des eaux à Ottawa, pour son aide à la rédaction.

8. REFERENCES

1. U.S. Army Corps of Engineers. 1973. HEC-2 Water Surface Profiles, Dept. of the Army, New England Division, Waltham, Mass.

2. U.S. Army Corps of Engineers. 1967. Cross Section and Sampling Survey, St. Croix River, Maine-New Brunswick. New England Division, Waltham, Mass.

3. Acres Consulting Services. 1971. Water Quality Management and its Application to the Saint John River.

4. Draper, D.W. 1974. Program WATQUAL and its Application to the Frenchville-Grand Falls Reach of the Saint John River, rapport interne, Direction de la planification et de la gestion des eaux, Environnement Canada, Ottawa.

5. Boutot, W. 1981. Program XSECT, rapport interne, Direction de la planification et de la gestion des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa.

6. Clair, T.A. 1980. Water Quality Branch Study of the St. Croix River, rapport interne, Direction de la qualité des eaux, région de l'Atlantique, Environnement Canada, Moncton, (N.-B.).

7. Nolan, P.M. and A.F. Johnson. 1977. Sediment Oxygen Demand Investigation, St. Croix River, Maine, U.S.A. and New Brunswick, Canada. U.S. Environmental Protection Agency, Region 1, Report 1989, août 1977.